

中国29种和泰国1种卷柏科植物的叶形态学研究 及其分类学意义

^{1,4}孙稚颖 ²张宪春* ³崔绍梅 ⁴周凤琴

¹(山东师范大学生命科学学院 济南 250014)

²(系统与进化植物学国家重点实验室, 中国科学院植物研究所 北京 100093)

³(济南中药厂 济南 250001)

⁴(山东中医药大学药学院 济南 250014)

Leaf morphology of 29 Chinese and one Thailand species of the Selaginellaceae and its taxonomic significance

^{1,4}SUN Zhi-Ying ²ZHANG Xian-Chun* ³CUI Shao-Mei ⁴ZHOU Feng-Qin

¹(College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

²(State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

³(Factory of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250001, China)

⁴(College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250014, China)

Abstract Leaf morphology of 29 Chinese species and one Thailand species of the Selaginellaceae was observed under light microscope and stereoscope. Species examined are rather consistent in leaf morphology. (1) Leaves are usually dimorphic, monomorphic only in few species, not petiolate, with the lateral leaves of the dimorphic leaf species larger than the median leaves, spreading outward or ascending, and the median leaves more or less adpressed on the adaxial side of stem, decussate or imbricate, and arranged in four ranks, while the leaves in the monomorphic leaf species spirally arranged. (2) The cells of the upper epidermis of the lateral and the median leaves are similar to each other, sub-isodiametric, tetragonal or oblong, and the anticlinal walls are straight, arched, sinuate or sinuolate; the cells of the lower epidermis of the lateral and the median leaves are also similar to each other, oblong or elongate, and the anticlinal walls are sinuolate. (3) The stomatal apparatuses, which are of anomocytic or actinoid types, are mainly distributed on the midvein region of upper epidermis of the median leaves and lower epidermis of the lateral leaves. The characters of the leaf macromorphology and of the micromorphology of the epidermal cells as well as the distribution patterns of stomata prove to be important for species delimitations in the Selaginellaceae. The studied species can be differentiated according to the following characters: (1) the shape of leaves (dimorphic vs. monomorphic); (2) the leaf arrangement (spiral vs. alternate); (3) the shape of the anticlinal walls (straight, arched, sinuate or sinuolate); (4) the shape of the cells of upper and lower epidermis (homomorphic vs. heteromorphic); (5) the type of the stomatal apparatus (anomocytic vs. actinoid); and (6) the difference in distribution of stomata on the upper and lower epidermis of the lateral and the median leaves.

Key words Selaginellaceae, morphology, foliar epidermis, taxonomy, China.

2004-09-20 收稿, 2005-08-03 收修改稿。

基金项目: 国家自然科学基金资助(39800011)(Supported by the National Natural Science Foundation of China, Grant No. 39800011)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zhangxc@ibcas.ac.cn)。

摘要 利用光学显微镜和体视显微镜对卷柏科Selaginellaceae中国产29种和泰国产1种植物的叶形态进行了宏观和微观观察。结果表明卷柏科植物在叶形态学方面表现出较高的一致性。(1)叶多为二形, 罕为一形, 无叶柄, 叶二形者侧叶多大于中叶, 外展或斜上, 中叶贴生于腹面茎上, 交互覆瓦状排成4列, 叶一形者则在茎上作螺旋状排列。(2)侧叶与中叶上表皮细胞形态相似, 近等径方形或长方形, 垂周壁平直、弓形或波状; 侧叶与中叶下表皮细胞形态也相似, 长方形或长条形, 垂周壁波状。(3)气孔类型为无规则型或放射型, 气孔多分布于中叶上表皮和侧叶下表皮中脉处。研究发现, 叶外形、叶表皮细胞形态及气孔分布特征等为中国卷柏科植物种间分类提供了重要的参考依据。研究的有关种类可以依据下面这些特征进行分类: (1)叶为一形叶或二形; (2)叶在枝上着生为螺旋状或成对交互排列; (3)叶表皮细胞垂周壁为平直、弓形、深波状或浅波状; (4)叶上、下表皮细胞同形或异形; (5)气孔为无规则型或放射型; 以及(6)气孔在中叶和侧叶的上、下表皮上的分布等特征。

关键词 卷柏科; 形态学; 叶表皮; 分类; 中国

卷柏科Selaginellaceae为单属科, 仅卷柏属*Selaginella* P. Beauv. 1属, 下分为5个亚属, 约700余种(Jermy, 1990), 广布于世界各地, 以热带及亚热带较多。该科植物均为中小型草本, 形态近似, 分类困难。中国有卷柏科植物60–70种(张宪春, 2004), 除卷柏亚属subgen. *Selaginella* (中国不产)和同形叶亚属subgen. *Tetragonostachys* Jermy是单系类群外, 其他亚属, 特别是根据孢子叶划分的同穗亚属subgen. *Stachygynandrum* (P. Beauv.) Baker和异穗亚属subgen. *Heterostachys* Baker都不是单系的, 因而在《中国植物志》中未采用卷柏属的属下分类。国内学者(刘保东等, 1989, 1993; 肖新月等, 2001; 刘家熙等, 2001, 2003, 2004)对中国卷柏科植物进行了孢子形态及配子体发育的研究。近年来, 部分种类的形态解剖学研究也有报道(孙稚颖等, 1999; 常崇艳等, 1999, 2000; Yang & Zhang, 2003)。这些工作对中国卷柏科植物种间关系的确定起到了一定的辅助作用, 但仍不够系统全面。叶表皮特征在一定程度上能反映出类群间的系统学关系, 特别是有助于鉴别形态近似的物种。Mital(1969)曾对印度产卷柏属植物进行了较全面的叶表皮形态学研究, 为各种种间关系的确定提供了重要的参考依据, 而国内此类研究尚很欠缺。本文对中国产的29种和泰国的1种卷柏属植物进行了叶形态学研究, 试图寻求稳定的形态学性状, 为中国卷柏科植物的分类鉴定和系统学研究提供资料。

1 材料和方法

1.1 材料

均取自腊叶标本, 凭证标本存中国科学院植物研究所标本馆(PE)(表1)。

1.2 方法

取样: 小枝取自近顶端已发育完全带有10–12片侧叶的小段, 叶片取自小枝中部。

叶表皮制片: 干燥带叶小枝温水中软化后置于5% NaOH水溶液中, 50 °C水浴离析2–3 h, 清水冲洗后, 用水合氯醛沸水浴透化至透明, 然后1%中性红染色, 稀甘油封片, 光学显微镜下观察, 常规描绘器绘图。

实验方法参考Mital (1969)和孙稚颖等(1999); 所用术语参考Dilcher (1974)。

表 1 材料来源*
Table 1 Source of materials*

种名 Species	采集地 Locality	凭证标本 Voucher
钱叶卷柏 <i>Selaginella nummularifolia</i> Ching	西藏拉萨 Lhasa, Xizang	钟补求 (P. C. Tsoong) 5502
布朗卷柏 <i>S. braunii</i> Bak.	重庆金佛山 Mt. Jinfoshan, Chongqing	刘正宇 (Z. Y. Liu) 10492
<i>S. ostenfeldii</i> Hieron.	彭水 Pengshui, Chongqing	刘正宇 (Z. Y. Liu) 735
藤卷柏 <i>S. willdenowii</i> (Desv.) Baker	泰国 Tak Lan Sang, Thailand	K. Iwatsuki et al. T-8581
鞘舌卷柏 <i>S. vaginata</i> Spring	贵州罗甸 Luodian, Guizhou	张宪春 (X. C. Zhang) 1131
	四川泸定 Luding, Sichuan	张宪春 (X. C. Zhang) 978
	重庆金佛山 Mt. Jinfoshan, Chongqing	刘正宇 (Z. Y. Liu) 9340
	甘肃文县 Wen Xian, Gansu	张宪春 (X. C. Zhang) 847
大叶卷柏 <i>S. bodinieri</i> Hieron.	贵州贵阳 Guiyang, Guizhou	邢公侠等 (K. H. Shing et al.) 6637
		张宪春 (X. C. Zhang) 1130
细叶卷柏 <i>S. labordei</i> Hieron. ex Christ	四川峨眉山 Mt. Emeishan, Sichuan	张宪春 (X. C. Zhang) 452
	重庆金佛山 Mt. Jinfoshan, Chongqing	刘正宇 (Z. Y. Liu) 3645
二形卷柏 <i>S. biformis</i> A. Br. ex Kuhn	广西那坡 Napo, Guangxi	张宪春 (X. C. Zhang) 1106
	广东深圳 Shenzhen, Guangdong	张宪春 (X. C. Zhang) 1133
薄叶卷柏 <i>S. delicatula</i> (Desv.) Alston	贵州望谟 Wangmo, Guizhou	王峰 (F. Wang) 201
	云南勐腊 Mengla, Yunnan	邢公侠等 (K. H. Shing et al.) 6882
攀援卷柏 <i>S. helferi</i> Warb.	贵州望谟 Wangmo, Guizhou	王峰 (F. Wang) 202
	云南马关 Maguan, Yunnan	张宪春 (X. C. Zhang) 1096
深绿卷柏 <i>S. doederleinii</i> Hieron.	海南五指山 Wuzhishan, Hainan	林尤兴等 (Y. X. Lin et al.) 7053
	广东深圳 Shenzhen, Guangdong	深圳队 (Shenzhen Exped.) 61A, 61B, 26, 34
西伯利亚卷柏 <i>S. sibirica</i> (Milde) Hieron.	黑龙江尚志 Shangzhi, Heilongjiang	王光正 (G. Z. Wang) 893
单子卷柏 <i>S. monospora</i> Spring	海南五指山 Wuzhishan, Hainan	林尤兴等 (Y. X. Lin et al) 7052
高雄卷柏 <i>S. repanda</i> (Desv.) Spring	广西那坡 Napo, Guangxi	张宪春 (X. C. Zhang) 1126
毛枝卷柏 <i>S. trichoclada</i> Alston	江西宜春 Yichun, Jiangxi	Anonymous 宜 (Yichun) 1404
细瘦卷柏 <i>S. vardei</i> H. Lév.	四川九寨沟 Jiuzhaigou, Sichuan	张宪春 (X. C. Zhang) 623
垫状卷柏 <i>S. pulvinata</i> (Hook. & Grev.) Maxim.	云南昆明 Kunming, Yunnan	张宪春 (X. C. Zhang) 88
蔓出卷柏 <i>S. davidii</i> Franch.	云南昆明 Kunming, Yunnan	张宪春 (X. C. Zhang) 20
兖州卷柏 <i>S. involvens</i> (Sw.) Spring	重庆南川 Nanchuan, Sichuan	刘正宇 (Z. Y. Liu) 1164
翠云草 <i>S. uncinata</i> (Desv.) Spring	四川都江堰 Dujiangyan, Sichuan	张宪春 (X. C. Zhang) 381
海南卷柏 <i>S. rolandi-principis</i> Alston	海南尖峰岭 Jianfengling, Hainan	海南植被队 (Hainan Pl. Exped.) 289
疏叶卷柏 <i>S. remotifolia</i> Spring	贵州施秉 Shibing, Guizhou	王培善 (P. S. Wang) 26
	云南昆明 Kunming, Yunnan	张宪春 (X. C. Zhang) 112

表 1 (续) Table 1 (continued)

种名 Species	采集地 Locality	凭证标本 Voucher
粗茎卷柏 <i>S. frondosa</i> Warb.	云南河口 Hekou, Yunnan	武素功 (S. K. Wu) 4054
江南卷柏 <i>S. moellendorffii</i> Hieron.	重庆金佛山 Mt. Jinfoshan, Chongqing	刘正宇 (Z. Y. Liu) 180
疏松卷柏 <i>S. effusa</i> Alston	广西大新 Daxin, Guangxi	张宪春 (X. C. Zhang) 1066
耳基卷柏 <i>S. limbata</i> Alston	广东深圳 Shenzhen, Guangdong	深圳队 (Shenzhen Exped.) 59, 297
狭叶卷柏 <i>S. mairei</i> H. Lév.	四川泸定 Luding, Sichuan	张宪春 (X. C. Zhang) 958
黑顶卷柏 <i>S. picta</i> A. Braun ex Baker	广西靖西 Jingxi, Guangxi	张宪春 (X. C. Zhang) 1068
	云南勐腊 Mengla, Yunnan	邢公侠等 (K. H. Shing et al.) 6728
红枝卷柏 <i>S. sanguinolenta</i> (L.) Spring	云南昆明 Kunming, Yunnan	张宪春 (X. C. Zhang) 19, 89
泰国卷柏 <i>S. siamensis</i> Hieron.	云南澜沧至勐满途中 Lancang to Mengman, Yunnan	朱维明 (W. M. Chu) 15741

* 所有标本都存于PE。All vouchers are preserved in PE.

2 观察结果

2.1 叶外部形态

中国卷柏科植物均为中小型植物，草本，茎多纤细，直立、近直立或匍匐。

依据叶的形态可将它们分为两个类型：(1)叶一形，无中叶和侧叶之分，包括西伯利亚卷柏、细瘦卷柏和红枝卷柏(图1: 12, 16, 29)，细瘦卷柏与西伯利亚卷柏叶长披针形，螺旋状排列，叶质地较厚，先端有芒尖，叶缘有棘突或刺；红枝卷柏叶卵圆形，边缘内卷，4行排列，枝呈方柱形。(2)叶二形，有中叶和侧叶之分，包括卷柏的大多数种，又可分为两个亚型：亚型1为中叶略大于或近等于侧叶，仅1种，即分布于西藏的钱叶卷柏(图1: 1)，腹面观中叶近圆形，盾状着生，覆瓦状遮盖侧叶；背面观，侧叶椭圆形，盾状着生，叶缘具细齿。亚型2为侧叶大于中叶，包括绝大多数种类(图1: 2–11, 13–15, 17–28, 30)，侧叶外展或斜升，中叶贴生腹面茎上，纵列斜向上或直立，中叶与侧叶排成4列；叶细小，鳞片状，无叶柄，叶片椭圆形、长卵圆形、披针形或三角形；叶草质，光滑无毛。亚型2依据叶缘情况又可分为两类：a. 叶全缘，包括布朗卷柏、藤卷柏、薄叶卷柏、攀援卷柏、毛枝卷柏、翠云草、海南卷柏、耳基卷柏、黑顶卷柏、泰国卷柏(图1: 2, 4, 9, 10, 15, 20, 21, 26, 28, 30)；b. 叶缘有锯齿、睫毛或长睫毛，包括其余种类(图1: 1, 3, 5–8, 11–14, 16–19, 22–25, 27, 29)。

依据叶在小枝上的排列方式，也可将卷柏科植物分为两个类型：(1)螺旋状着生型，包括西伯利亚卷柏和细瘦卷柏2种(图1: 12, 16)；(2)成对交替着生型，包括红枝卷柏和其余种类(图1: 1–11, 13–15, 17–30)。

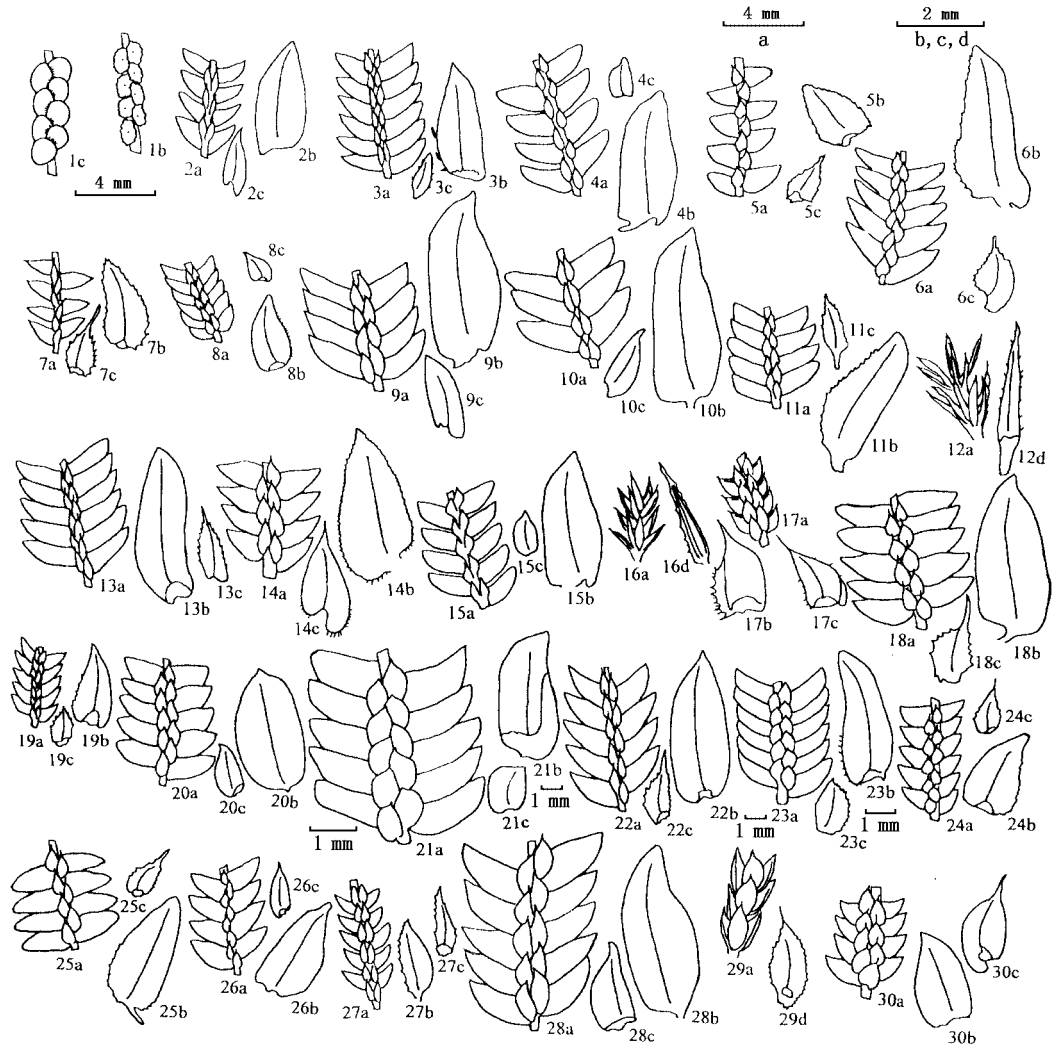


图1 卷柏科植物叶外形图 a, 小枝; b, 侧叶; c, 中叶; d, 叶; 1, 钱叶卷柏; 2, 布朗卷柏; 3, *S. ostenfeldii*; 4, 藤卷柏; 5, 鞘舌卷柏; 6, 大叶卷柏; 7, 细叶卷柏; 8, 二形卷柏; 9, 薄叶卷柏; 10, 攀援卷柏; 11, 深绿卷柏; 12, 西伯利亚卷柏; 13, 单子卷柏; 14, 高雄卷柏; 15, 毛枝卷柏; 16, 细痕卷柏; 17, 垫状卷柏; 18, 蔓出卷柏; 19, 兖州卷柏; 20, 翠云草; 21, 海南卷柏; 22, 疏叶卷柏; 23, 粗茎卷柏; 24, 江南卷柏; 25, 疏松卷柏; 26, 耳基卷柏; 27, 狭叶卷柏; 28, 黑顶卷柏; 29, 红枝卷柏; 30, 泰国卷柏。

除特殊标注外, 标尺: a, 4 mm; b, c, d, 2 mm。

Fig. 1. Leaf morphology of Selaginellaceae. a, shoot; b, lateral leaf; c, median leaf; d, leaf; 1, *Selaginella nummularifolia*; 2, *S. braunii*; 3, *S. ostenfeldii*; 4, *S. willdenowii*; 5, *S. vaginata*; 6, *S. bodinieri*; 7, *S. labordei*; 8, *S. biformis*; 9, *S. delicatula*; 10, *S. helferi*; 11, *S. doederleinii*; 12, *S. sibirica*; 13, *S. monospora*; 14, *S. repanda*; 15, *S. trichoclada*; 16, *S. vardei*; 17, *S. pulvinata*; 18, *S. davidii*; 19, *S. involvens*; 20, *S. uncinata*; 21, *S. rolandi-principis*; 22, *S. remotifolia*; 23, *S. frondosa*; 24, *S. moellendorffii*; 25, *S. effusa*; 26, *S. limbata*; 27, *S. mairei*; 28, *S. picta*; 29, *S. sanguinolenta*; 30, *S. siamensis*.

Unless otherwise noted, scale bar: a, 4 mm; b, c, d, 2 mm.

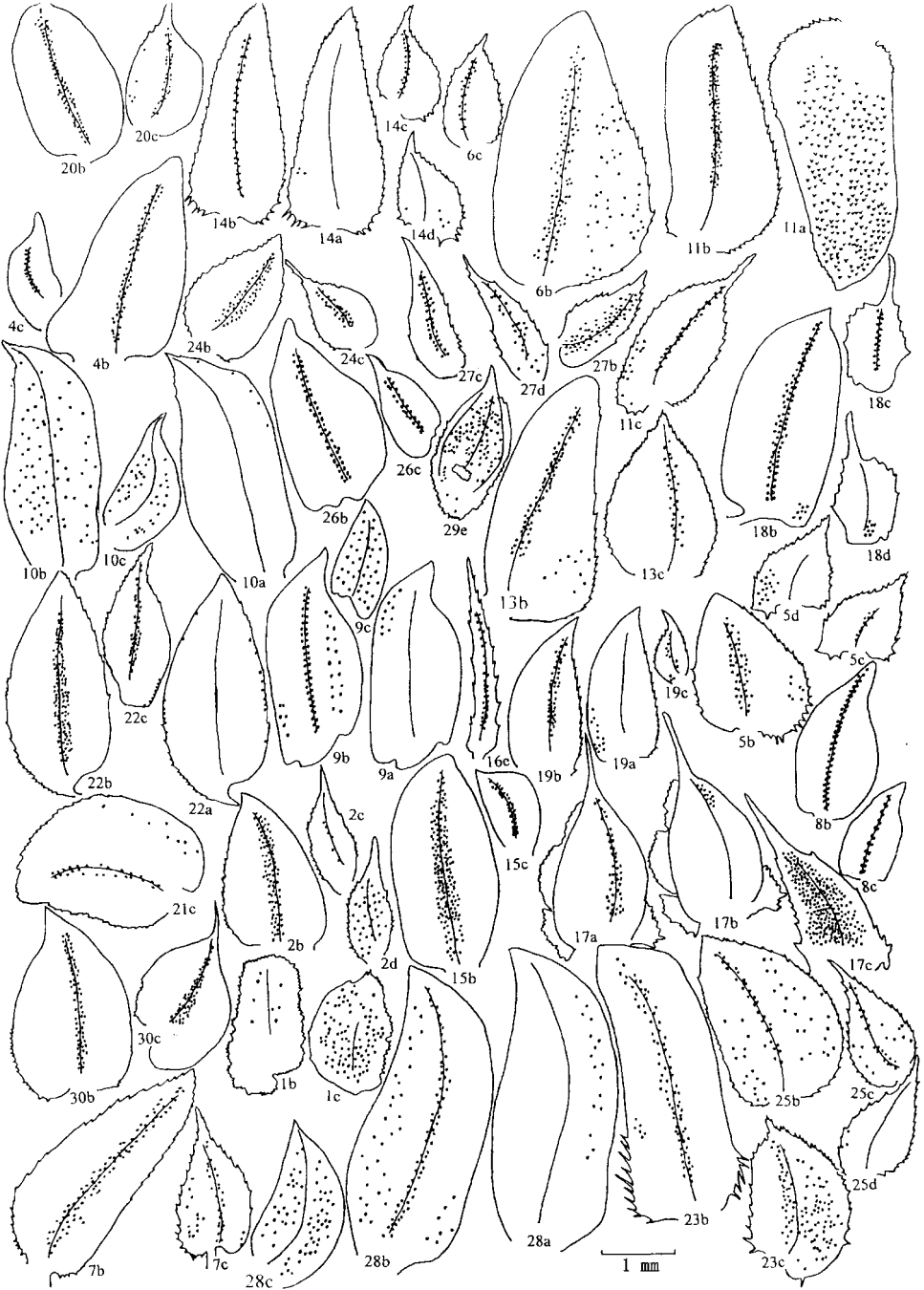


图2 卷柏科植物叶表皮气孔分布简图(编号同图1) a, 侧叶上表皮; b, 侧叶下表皮; c, 中叶上表皮; d, 中叶下表皮; e, 叶下表皮。

Fig. 2. Distribution of stomata of Selaginellaceae (Species numbers are the same as in Fig. 1) a, upper epidermis of lateral leaf; b, lower epidermis of lateral leaf; c, upper epidermis of median leaf; d, lower epidermis of median leaf; e, lower epidermis of leaf; f, upper epidermis of leaf.

2.2 气孔类型及分布

卷柏科植物气孔器多呈椭圆形、类圆形或类方形, 气孔类型多为无规则型, 少为放射型(副卫细胞6–7个, 较周围表皮细胞略大, 环绕气孔器一列成花环状, 多见于卷柏科植物叶上表皮, 如图6: a, c, 图10: a, c, 图12a, c)。

气孔分布在种间有差异, 多存在于卷柏科植物中叶上表皮和侧叶下表皮, 且集中于表皮中脉处, 中脉两侧、叶基、叶缘偶有分布, 中叶下表皮和侧叶上表皮仅部分种有气孔分布。依中叶下表皮气孔的有无, 可将卷柏科植物分为两类: (1)中叶下表皮有气孔型, 包括布朗卷柏、鞘舌卷柏、二形卷柏、高雄卷柏、垫状卷柏、蔓出卷柏、疏叶卷柏、疏松卷柏、狭叶卷柏(图2: 2, 5, 8, 14, 17, 18, 22, 25, 27), 气孔分布于叶基、叶缘或整个叶片; (2)中叶下表皮无气孔型, 包括细叶卷柏、深绿卷柏、薄叶卷柏、兖州卷柏、江南卷柏、黑顶卷柏、毛枝卷柏、粗茎卷柏、*S. ostenfeldii*、泰国卷柏、钱叶卷柏、翠云草、耳基卷柏、单子卷柏、大叶卷柏、海南卷柏、攀援卷柏及藤卷柏。依侧叶上表皮气孔的有无, 也可将卷柏科植物分为两类: (1)侧叶上表皮有气孔型, 包括薄叶卷柏、深绿卷柏、高雄卷柏、垫状卷柏、兖州卷柏、疏叶卷柏、粗茎卷柏、黑顶卷柏(图2: 9, 11, 14, 17, 19, 22, 23, 28), 气孔较少, 零星分布于叶基及叶缘等处; (2)侧叶上表皮无气孔型, 包括细叶卷柏、江南卷柏、毛枝卷柏、*S. ostenfeldii*、泰国卷柏、钱叶卷柏、翠云草、耳基卷柏、单子卷柏、大叶卷柏、海南卷柏、攀援卷柏、布朗卷柏、二形卷柏、狭叶卷柏、蔓出卷柏、疏松卷柏及藤卷柏。

2.3 叶表皮细胞形态

卷柏科植物叶表皮细胞形态种间有差异。侧叶与中叶上表皮细胞形态相似, 主要为近等径方形, 少数为长方形或长条形; 侧叶与中叶下表皮细胞形态大多也相似, 主要为长方形或长条形。

依叶上表皮细胞垂周壁形状, 可将卷柏科植物分为三类: (1)垂周壁平直或近弓形, 包括鞘舌卷柏、薄叶卷柏、细瘦卷柏、垫状卷柏(图7, 9, 10, 14)、毛枝卷柏、耳基卷柏、西伯利亚卷柏; (2)垂周壁深波状, 包括狭叶卷柏(图8)、泰国卷柏; (3)垂周壁浅波状, 包括其余种(如图3–6, 图11–13)。

依叶下表皮细胞垂周壁形状也可将卷柏科植物分为三类: (1)垂周壁平直或近弓形, 包括细瘦卷柏、垫状卷柏(图7, 图14)、西伯利亚卷柏; (2)垂周壁深波状, 包括蔓出卷柏、布朗卷柏、狭叶卷柏、攀援卷柏(图3, 5, 8, 12)、泰国卷柏、大叶卷柏、藤卷柏、翠云草、高雄卷柏、疏松卷柏、*S. ostenfeldii*、粗茎卷柏; (3)垂周壁浅波状, 包括其余种(如图4, 6, 图9–11, 13, 15)。

此外, 疏叶卷柏、垫状卷柏、狭叶卷柏、细瘦卷柏、红枝卷柏(图4, 7, 8, 图14, 15)、西伯利亚卷柏的上、下表皮细胞近同形, 其余种类上、下表皮细胞形态差异较大。

通过观察, 还发现大多数卷柏科植物叶缘处的表皮细胞较中脉处的表皮细胞长。

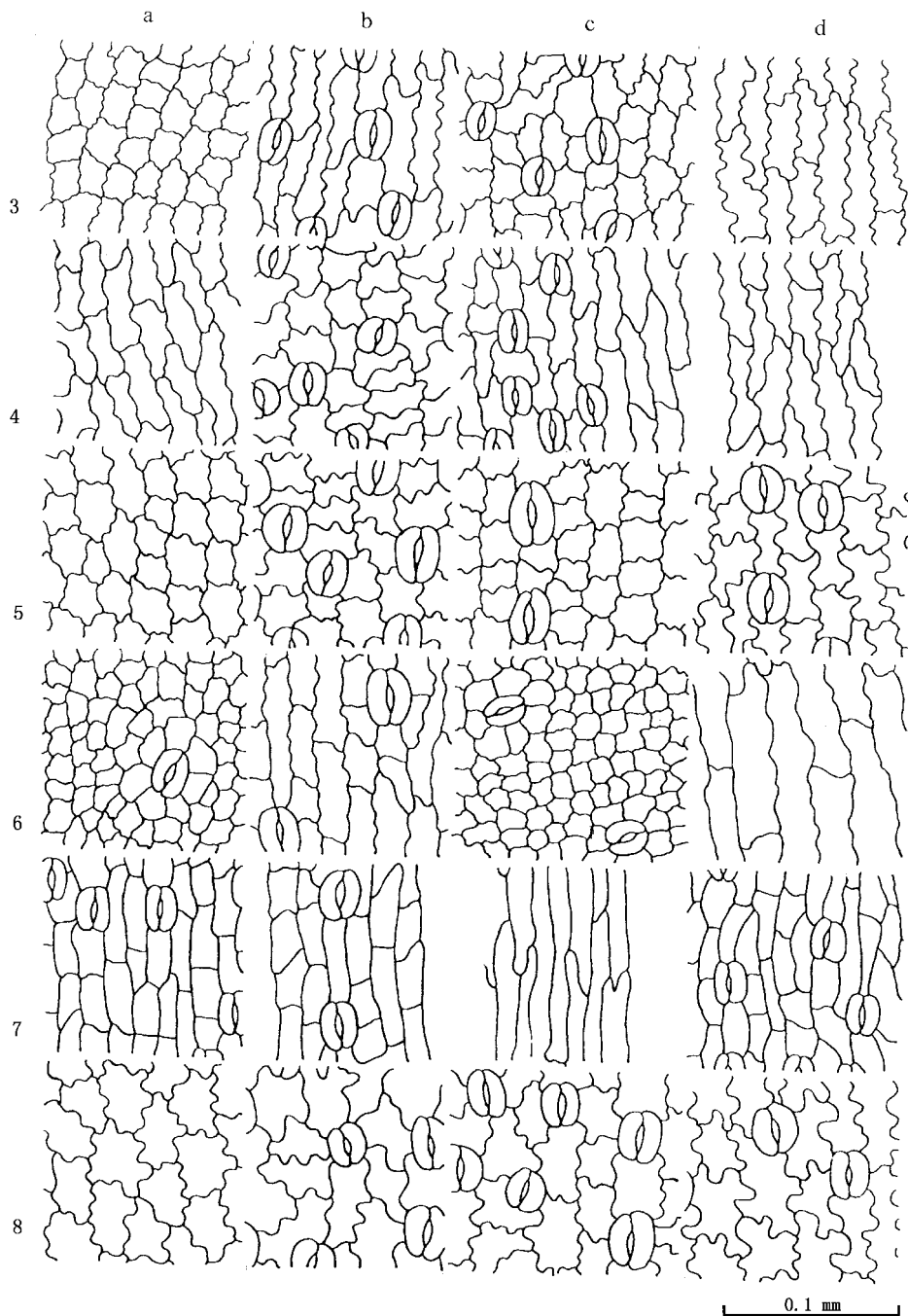


图3-8 中国卷柏科植物叶表皮细胞形态图(一般为叶近中脉处) 3. 蔓出卷柏。4. 疏叶卷柏。5. 布朗卷柏。6. 黑顶卷柏。7. 垫状卷柏。8. 狭叶卷柏。a, 侧叶上表皮; b, 侧叶下表皮; c, 中叶上表皮; d, 中叶下表皮。
Figs. 3-8. Morphology of leaf epidermis of Selaginellaceae (area close to midvein of leaf). 3. *S. davidii*. 4. *S. remotifolia*. 5. *S. braunii*. 6. *S. picta*. 7. *S. pulvinata*. 8. *S. mairei*. a, upper epidermis of lateral leaf; b, lower epidermis of lateral leaf; c, upper epidermis of median leaf; d, lower epidermis of median leaf.

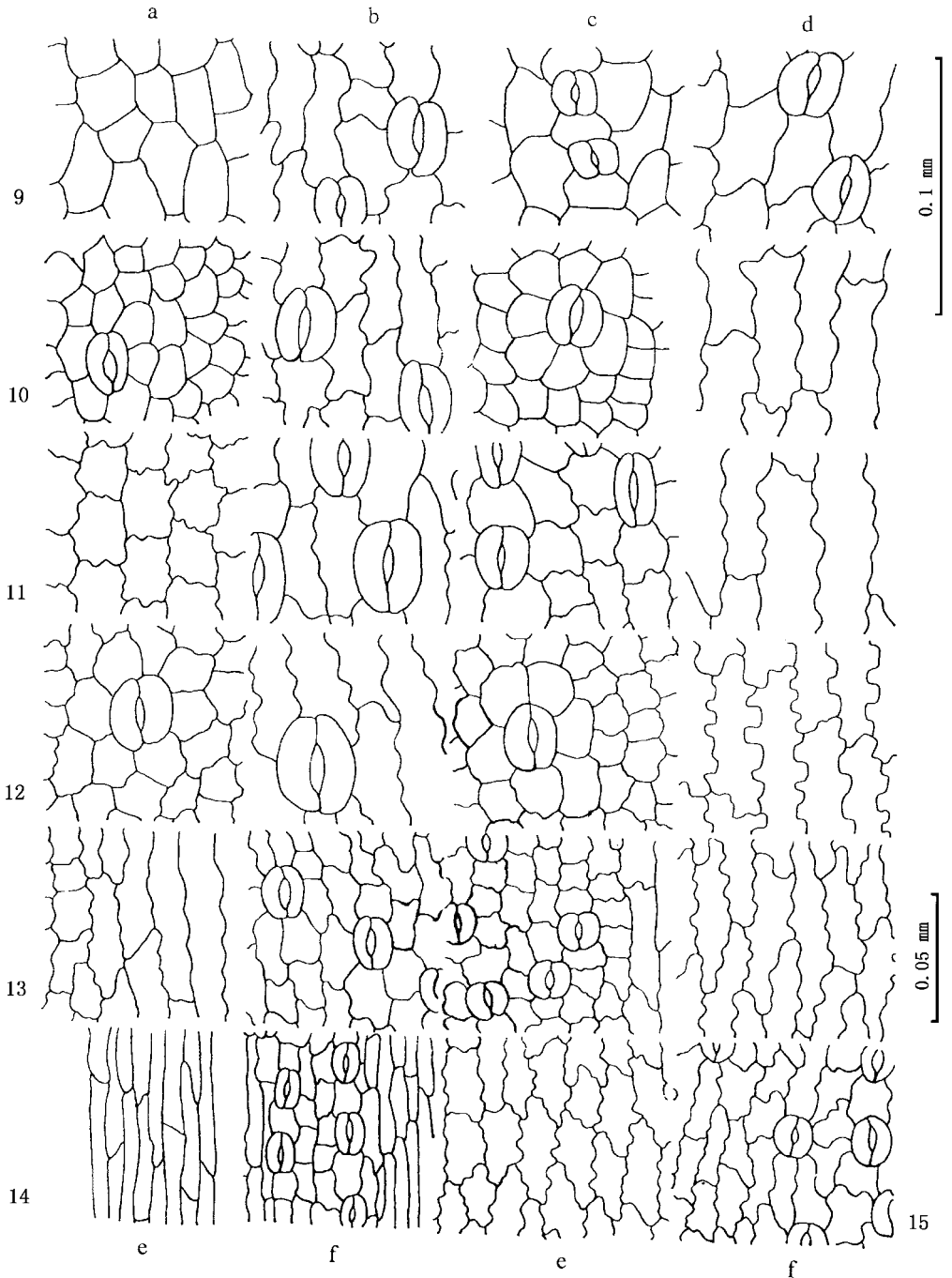


图9-15 中国卷柏科植物叶表皮细胞形态图(一般为叶近中脉处) 9. 鞘舌卷柏。10. 薄叶卷柏。11. 深绿卷柏。12. 攀援卷柏。13. 兗州卷柏。14. 细瘦卷柏。15. 红枝卷柏。a, 侧叶上表皮; b, 侧叶下表皮; c, 中叶上表皮; d, 中叶下表皮; e, 叶上表皮; f, 叶下表皮。
Figs. 9-15. Morphology of leaf epidermis of Selaginellaceae (area close to midvein of leaf). 9. *S. vaginata*. 10. *S. delicatula*. 11. *S. doederleinii*. 12. *S. helferi*. 13. *S. involvens*. 14. *S. vardei*. 15. *S. sanguinolenta*. a, upper epidermis of lateral leaf; b, lower epidermis of lateral leaf; c, upper epidermis of median leaf; d, lower epidermis of median leaf; e, lower epidermis of leaf; f, upper epidermis of leaf.

2.4 根据叶形态特征做出的部分卷柏科植物分种检索表

根据叶形态特征, 本文研究的卷柏科植物可检索如下。

1. 叶一形，无中叶与侧叶之分。
2. 叶为披针形，螺旋状排列。
3. 叶缘疏具长睫毛.....1. 细瘦卷柏 *S. vardei*
3. 叶缘密具长睫毛.....2. 西伯利亚卷柏 *S. sibirica*
2. 叶为卵圆形，覆瓦状排成四列.....3. 红枝卷柏 *S. sanguinolenta*
1. 叶二形，有中、侧叶之分。
4. 中叶略大于或近于侧叶，叶片近圆形或椭圆形.....4. 钱叶卷柏 *S. nummularifolia*
4. 侧叶大于中叶。
5. 侧叶上表皮有气孔。
6. 侧叶上表皮气孔分布于中脉处5. 垫状卷柏 *S. pulvinata*
6. 侧叶上表皮气孔分布于非中脉处。
7. 侧叶上表皮气孔分布近于叶缘.....6. 疏叶卷柏 *S. remotifolia*
7. 侧叶上表皮气孔零星分布于中脉一侧。
8. 侧叶上表皮气孔仅分布于中脉一侧基部。
9. 侧叶和中叶下表皮细胞垂周壁浅波状.....7. 兖州卷柏 *S. involvens*
9. 侧叶和中叶下表皮细胞垂周壁深波状。
10. 中叶下表皮有气孔分布.....8. 高雄卷柏 *S. repanda*
10. 中叶下表皮无气孔分布.....9. 粗茎卷柏 *S. frondosa*
8. 侧叶上表皮气孔分布于中脉一侧叶缘。
11. 侧叶和中叶上表皮副卫细胞一列呈“花环状”围绕气孔器。
12. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁近平直.....10. 薄叶卷柏 *S. delicatula*
12. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁浅波状。
13. 中叶下表皮细胞垂周壁浅波状.....11. 黑顶卷柏 *S. picta*
13. 中叶下表皮细胞垂周壁深波状.....12. 攀援卷柏 *S. helferi*
11. 侧叶和中叶上表皮副卫细胞不呈“花环状”围绕气孔器.....13. 深绿卷柏 *S. doederleinii*
5. 侧叶上表皮无气孔。
14. 中叶下表皮有气孔。
15. 中叶下表皮气孔均匀散布于整个叶片.....14. 布朗卷柏 *S. braunii*
15. 中叶下表皮气孔不均匀散布于整个叶片。
16. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁波状。
17. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁深波状.....15. 狭叶卷柏 *S. mairei*
17. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁浅波状。
18. 中叶上表皮气孔仅分布在中脉处.....16. 蔓出卷柏 *S. davidii*
18. 中叶上表皮气孔分布在中脉及其两侧17. 疏松卷柏 *S. effusa*
16. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁近平直.....18. 鞘舌卷柏 *S. vaginata*
14. 中叶下表皮无气孔。
19. 中叶上表皮气孔、侧叶下表皮气孔均分布在中脉处。
20. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁近平直或弓形。
21. 中叶上表皮气孔成列分布.....19. 耳基卷柏 *S. limbata*
21. 中叶上表皮气孔不成列分布.....20. 毛枝卷柏 *S. trichoclada*
20. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁波状。
22. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁深波状21. 泰国卷柏 *S. siamensis*
22. 侧叶和中叶上表皮细胞垂周壁浅波状。
23. 侧叶和中叶全缘.....22. 藤卷柏 *S. wilddenowii*
23. 侧叶或中叶叶缘有细锯齿或睫毛。
24. 中叶下表皮有气孔.....23. 二形卷柏 *S. biformis*

24. 中叶下表皮无气孔。
25. 中叶叶缘有细锯齿.....24. 江南卷柏 *S. moellendorffii*
25. 中叶叶缘有短睫毛 25. *S. ostenfeldii*
19. 中叶上表皮气孔、侧叶下表皮气孔不都分布在中脉处。
26. 侧叶下表皮气孔分布在中脉处。
27. 中叶近圆形; 叶下表皮细胞垂周壁浅波状...26. 海南卷柏 *S. rolandi-principis*
27. 中叶近卵形; 叶下表皮细胞垂周壁深波状.....27. 翠云草 *S. uncinata*
26. 侧叶下表皮气孔不仅分布在中脉处。
28. 侧叶下表皮气孔分布在中脉及其两侧..... 28. 细叶卷柏 *S. labordei*
28. 侧叶下表皮气孔分布在中脉及其一侧。
29. 侧叶下表皮气孔分布在中脉及一侧基部.....29. 单子卷柏 *S. monospora*
29. 侧叶下表皮气孔分布在中脉及一侧中下部.....30. 大叶卷柏 *S. bodinieri*

Key to the Selaginellaceae species studied with special reference to foliar morphological characters

1. Leaves monomorphic, no differentiation of median and lateral leaves.
2. Leaves lanceolate, spirally arranged.
3. Margin of leaves sparsely long ciliate..... 1. *S. vardei*
3. Margin of leaves densely long ciliate.....2. *S. sibirica*
2. Leaves in 4 ranks, ovate, imbricate.....3. *S. sanguinolenta*
1. Leaves dimorphic, with 2 ranks of median leaves and 2 ranks of lateral leaves.
4. Median leaves larger or similar to lateral leaves, orbicular or elliptic.....4. *S. nummularifolia*
4. Lateral leaves larger than median leaves.
5. Upper epidermis of lateral leaves with stomata.
6. Stomata on the midvein region of lateral leaves.....5. *S. pulvinata*
6. Stomata not on the midvein region of lateral leaves.
7. Stomata close to the margins of lateral leaves..... 6. *S. remotifolia*
7. Stomata sparsely on one side of midvein of lateral leaves.
8. Stomata only at the base of one side of midvein of lateral leaves.
9. Anticlinal walls of lower epidermis of lateral leaves and median leaves sinuolate.....
.....7. *S. involvens*
9. Anticlinal walls of lower epidermis of lateral leaves and median leaves sinuate.
10. Lower epidermis of median leaves with stomata.....8. *S. repanda*
10. Lower epidermis of median leaves without stomata..... 9. *S. frondosa*
8. Stomata only on the margin of one side of midvein.
11. Subsidiary cells of upper epidermis of lateral leaves and median leaves ring-shaped around stomata.
12. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sub-straight...
.....10. *S. delicatula*
12. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuolate.
13. Anticlinal walls of lower epidermis of median leaves sinuolate.....11. *S. picta*
13. Anticlinal walls of lower epidermis of median leaves sinuate.....12. *S. helferi*
11. Subsidiary cells of upper epidermis of lateral leaves and median leaves not ring-shaped around stomata..... 13. *S. doederleinii*
5. Upper epidermis of lateral leaves without stomata.
14. Lower epidermis of median leaves with stomata.
15. Stomata regularly dispersed on lower epidermis of median leaves.....14. *S. braunii*
15. Stomata irregularly dispersed on lower epidermis of median leaves.
16. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuous.
17. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuate.....
.....15. *S. mairei*
17. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuolate.
18. Stomata of upper epidermis of median leaves only on the midvein region.....

.....	16. S. davidii
18. Stomata of upper epidermis of median leaves on the midvein region and its two lateral sides.....	17. S. effusa
16. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sub-straight.....	18. S. vaginata
14. Lower epidermis of median leaves without stomata.	
19. Stomata on the midvein regions of upper epidermis of median leaves and lower epidermis of lateral leaves.	
20. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves straight or arched.	
21. Stomata in rows on the upper epidermis of median leaves.....	19. S. limbata
21. Stomata not in rows on the upper epidermis of median leaves.....	20. S. trichoclada
20. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuate.	
22. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuate.....	21. S. siamensis
22. Anticlinal walls of upper epidermis of lateral leaves and median leaves sinuate.	
23. Margins of lateral leaves and median leaves entire.....	22. S. willdenowii
23. Margins of lateral or median leaves serrulate, or ciliate.	
24. Lower epidermis of median leaves with stomata.....	23. S. biformis
24. Lower epidermis of median leaves without stomata.	
25. Margins of median leaves serrulate.....	24. S. moellendorffii
25. Margins of median leaves ciliate.....	25. S. ostenfeldii
19. Stomata not only on the midvein regions of upper epidermis of median leaves and lower epidermis of lateral leaves.	
26. Stomata of lower epidermis of lateral leaves on the midvein region.	
27. Median leaves sub-orbicular; anticlinal walls of lower epidermis sinuate.....	26. S. rolandi-principis
27. Median leaves sub-ovate; anticlinal walls of lower epidermis sinuate.....	27. S. uncinata
26. Stomata of lower epidermis of lateral leaves not only on the midvein region.	
28. Stomata of lower epidermis of lateral leaves on the midvein region and its two lateral sides.....	28. S. labordei
28. Stomata of lower epidermis of lateral leaves on the midvein region and its one side.	
29. Stomata on the midvein region and at the base of one side of lateral leaves.....	29. S. monospora
29. Stomata on the midvein region and below the middle of one side of lateral leaves.....	30. S. bodinieri

3 讨论

3.1 中国卷柏科植物形态学的共性

中国卷柏科植物在叶形态学方面表现出较高的一致性。(1)叶多为二形, 稀一形, 无叶柄, 叶二形者侧叶大于中叶, 外展或斜上, 中叶贴生于腹面茎上, 交互覆瓦状排成4列, 叶一形者则在茎上作螺旋状排列。(2)侧叶与中叶上表皮细胞形态相似, 近等径方形或长方形, 垂周壁平直、弓形或波状, 侧叶与中叶下表皮细胞形态相似, 长方形或长条形, 垂周壁波状, 表皮细胞间多呈裂片状交错搭接; 多数卷柏科植物叶缘处表皮细胞与中脉处表皮细胞相比, 形态有所变化, 长度增加。(3)气孔类型为无规则型或放射型, 气孔多分布于中叶上表皮和侧叶下表皮中脉处。

3.2 中国卷柏科植物种间形态学分类依据

叶外部形态、叶表皮细胞形态及气孔分布为中国卷柏科植物种间分类提供了重要依

据: (1)叶形可分为一形叶与二形叶两类; (2)叶在枝上排列的方式可分为螺旋状着生和成对交替着生型两类; (3)叶表皮细胞垂周壁形状可分为平直、弓形、浅波状和深波状; (4)叶上、下表皮细胞同形或异形; (5)气孔类型可分为无规则型和放射型; (6)中叶、侧叶的上、下表皮气孔的有或无及其分布差异。

通过对卷柏科植物随机选择少数居群形态学的观察研究, 来自同一种的不同居群样本, 上述性状可能会有一定变异, 有的有种下等级的存在, 比如深绿卷柏(材料61-A), 叶表皮细胞平周壁密布刺突(图2: 11a), 而与其他深绿卷柏材料(61-B, 7053, 26, 34)有所不同, 是作为种或种下等级有待进一步作深入研究。

致谢 感谢本文第一作者导师李法曾教授审阅全文, 并提出宝贵意见。

参 考 文 献

- Chang C-Y (常崇艳), Chen X-D (陈晓端), Xiao X-Y (肖新月), Lin R-C (林瑞超). 2000. Studies on micromorphology and its significance in anatomy and identification of *Selaginella*. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis (药物分析杂志) 20 (2): 75–79.
- Chang C-Y (常崇艳), Xiao X-Y (肖新月), Chen X-D (陈晓端). 1999. Micromorphological characters of ten species of *Selaginella*. Journal of Beijing Normal University (Natural Science edition)(北京师范大学学报(自然科学版)) 35: 403–407.
- Dilcher D L. 1974. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. The Botanical Review 40: 1–157.
- Jermey A C. 1990. Selaginellaceae. In: Kramer K U, Green P S eds. The Families and Genera of Vascular Plants. Berlin: Springer-Verlag. 1: 39–45.
- Liu B-D (刘保东), Bao W-M (包文美), Ao Z-W (敖志文). 1989. Studies on the spores of morphology of the family Selaginellaceae from China. Bulletin of Botanical Research (植物研究) 9: 113–122.
- Liu B-D (刘保东), Zhang D-W (张大维), Bao W-M (包文美), Ao Z-W (敖志文). 1993. Studies on the morphological development of gametophytes of Selaginellaceae. Bulletin of Botanical Research (植物研究) 13: 250–256.
- Liu J-X (刘家熙), Zhang X-C (张宪春), Sun X-H (孙晓红), Jiang Y (姜怡). 2001. New materials of the megaspores morphology of the Selaginellaceae from China. Journal of Chinese Electron Microscopy Society (电子显微学报) 20: 511–512.
- Liu J-X (刘家熙), Sun X-H (孙晓红), Jin Y (靳颖), Lü L (吕琳), Yu X-X (余晓星), Zhang X-C (张宪春). 2003. Spore morphology of eight species of Selaginellaceae from Yunnan. Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究) 25: 303–312.
- Liu J-X (刘家熙), Yan X-F (阎秀峰). 2004. Observations on the spore morphology of four species of Selaginellaceae from China. Chinese Bulletin of Botany (植物学通报) 21: 84–90.
- Mital P L. 1969. Epidermal studies in the genus *Selaginella* Beauv. Bulletin of the Botanical Survey of India 2: 150–160.
- Sun Z-Y (孙稚颖), Han Y-L (韩月莲), Zhou F-Q (周凤琴), Li J-X (李建秀). 1999. Studies on the morphology and anatomy of *Lycopodioides* from Shandong Province. In: Zhang X-C, Shing K-H eds. Ching Memorial Volume (纪念秦仁昌论文集). Beijing: China Forestry Publishing House. 335–343.
- Xiao X-Y (肖新月), Lin R-C (林瑞超), Chang C-Y (常崇艳), Chen X-D (陈晓端). 2001. The comparative studies on megaspores of thirteen species in *Selaginella*. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis (药物分析杂志) 21: 286–290.
- Zhang X-C (张宪春). 2004. Selaginellaceae. In: Flora Reipublicae Popularis Sinicae (中国植物志). Beijing: Science Press. 6 (3): 86–219.
- Yang P, Zhang X C. 2003. Observations on the foliar epidermis of *Selaginella* Beauv. from Hainan Island of China. In: Chandra S, Srivastava M eds. Pteridology in the New Millennium. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 177–184.